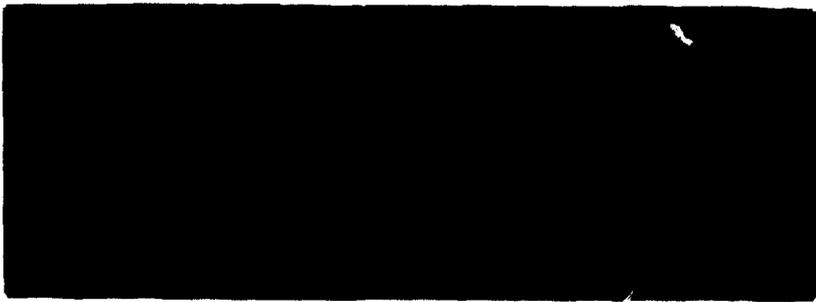


628816896

**NUCLEBRÁS**

Empresas Nucleares Brasileiras SA

•



**CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR**

**CAIXA POSTAL, 1941 - 30.000 - BELO HORIZONTE - BRASIL**

**CONTROLE AMBIENTAL DE INSTALAÇÕES NUCLEARES**

**P. E. Aun  
J. O. N. M. de Castro.**

**NUCLEBRÁS/CDTN - 540**

**EMPRESAS NUCLEARES BRASILEIRAS S.A. - NUCLEBRÁS**  
**CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR**  
**DEPARTAMENTO DE RADIOPROTEÇÃO E APOIO AO LICENCIAMENTO**

**CONTROLE AMBIENTAL DE INSTALAÇÕES NUCLEARES**

**P. E. Aun**  
**J. O. N. M. de Castro**

## 1. INTRODUÇÃO

Crescimento populacional e desenvolvimento tecnológico: estes dois fatores contribuíram, nos tempos modernos, para um aumento importante - e perigoso - dos efeitos danosos da atuação da humanidade sobre a natureza.

A humanidade passou a temer por sua sobrevivência. Isto originou uma preocupação com o meio ambiente que, a partir dos anos sessenta, gerou medidas práticas de proteção à natureza. Hoje todos concordam: a Terra é um planeta de recursos limitados. O ambiente tem também uma capacidade limitada de recuperação. A Terra é um ecossistema frágil e precisa cuidados para sobreviver.

Como proteger a natureza? Este problema prático, de resposta difícil, deve ser encarado em termos realistas. A busca do chamado "impacto zero" não é viável, por não ser possível.

Qualquer atividade - até a simples presença do Homem - causa impacto na natureza. O objetivo a ser perseguido é manter este impacto em níveis aceitáveis. A definição destes níveis é tarefa, sempre complexa, dos órgãos de controle ambiental, com evidente participação da sociedade. São procurados meios que permitam os benefícios de um dado empreendimento, minimizando seus efeitos maléficos. Um balanço entre os saldos positivos e negativos, o qual inclui certamente parâmetros não econômicos, orientará a decisão final sobre a viabilidade da instalação.

## 2. A ENERGIA NUCLEAR E O MEIO AMBIENTE

É dentro desta colocação que a energia nuclear deve ser considerada. O potencial dos cursos d'água disponíveis para a produção de eletricidade é limitado; assim, a geração núcleo-elétrica é uma alternativa a ser considerada para suprir a escassez energética de uma dada região. Evidentemente, o seu efeito no meio ambiente será um dos parâmetros a considerar na decisão sobre a implantação de uma central.

No caso brasileiro, o governo montou um programa, que está

sendo adequado às presentes condições do país, prevendo a geração de eletricidade através da energia nuclear, com independência tecnológica. Assim, a indústria nuclear no Brasil envolve diversas etapas: a mineração, a produção de concentrado de urânio, a conversão, o enriquecimento, a produção de elementos combustíveis, a construção de reatores nucleares e, possivelmente, o reprocessamento.

O público crê ser a energia nuclear altamente poluente, o que não corresponde à verdade. O público não tem sido devidamente informado de que a indústria nuclear é uma das que mais cuidados toma para evitar danos ao ambiente. Estes cuidados são de tal ordem que asseguram a proteção do homem e do ambiente mesmo a longo prazo. Há vários motivos para isto. Um deles é que a indústria nuclear é recente. O seu desenvolvimento deu-se em um período no qual a consciência de proteção ao homem e ao ambiente já estava em desenvolvimento. Isto faz com que o projeto de uma instalação nuclear moderna já inclua, como parte essencial, os métodos e sistemas necessários para proteger o público e a natureza. Outro motivo é a existência de organismos destinados a controlar a energia nuclear em todas as suas fases. Há organismos internacionais, tais como a Agência Internacional de Energia Atômica, com sede em Viena e a ICRP (Comissão Internacional de Proteção Radiológica) que se ocupam de estudar o problema da energia nuclear com uma visão de longo prazo. Existem também organismos nacionais, que controlam a indústria nuclear de cada país. No Brasil, este órgão é a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), que conta com um corpo técnico de alto nível e que utiliza também, quando necessário, o apoio de especialistas de outros países. Todas as fases de uma instalação nuclear, desde a escolha do local até a operação, são acompanhadas pela CNEN; somente após o exame de todos os aspectos envolvidos em cada fase é que a CNEN autoriza o início do funcionamento da instalação. Para cada instalação, são concedidas em geral 3 licenças pela CNEN, após o exame da documentação pertinente. A primeira delas refere-se ao local proposto para a instalação, que deve ser aprovado após o exame de um relatório sobre o local. Em fases posteriores, também após o exame da extensa documentação necessária, a CNEN poderá conceder uma autorização para o início das obras da instalação e, posteriormente, uma licença para a operação. O conjunto desse processo é conhecido como licenciamento e permite que a CNEN mantenha um controle permanente sobre qualquer instalação na área nuclear.

### 3. A SISTEMÁTICA DE CONTROLE

A responsabilidade pelo funcionamento seguro de uma instalação é do operador da mesma. No caso brasileiro, as instalações nucleares são operadas pela NUCLEBRÁS e subsidiárias, por empresas de produção de energia elétrica, e pela própria CNEN. Os operadores das instalações são responsáveis pelo cumprimento das normas estabelecidas pela CNEN. Estas normas definem a quantidade máxima de um dado poluente que a instalação pode liberar. Elas definem também as doses máximas de radiação que o público pode receber devido ao funcionamento da instalação.

Estas normas são baseadas em estudos realizados em todo o mundo nos últimos 30 anos por organizações altamente competentes. A filosofia que orientou estes estudos foi assegurar a proteção do público contra os efeitos das radiações, mesmo a longo prazo. Isto quer dizer que os limites fixados por elas permitem que um grupo de pessoas viva toda a sua vida nas proximidades de uma instalação nuclear, sem sofrer qualquer dano ou prejuízo.

Como foi dito, o operador da instalação é o responsável pelo cumprimento destas normas e regulamentos. Isto o obriga a realizar, para cada instalação, os chamados Programas de Monitoração Ambiental, que abreviaremos para PMA daqui por diante.

Além disto, e como precaução e controles adicionais, órgão fiscalizador - Comissão Nacional de Energia Nuclear - também estabelece e opera independentemente programas de monitoração ambiental para todas as instalações nucleares.

### 4. OS PROGRAMAS DE MONITORAÇÃO AMBIENTAL

Um PMA é estabelecido em duas fases, chamadas fase pré-operacional e operacional. A fase pré-operacional tem por objetivo de terminar as condições do ambiente antes do início da construção e da operação da instalação. Ela é necessária para que se possa comparar o estudo do ambiente com o estado final que ele atingirá, com a entrada em operação da instalação nuclear.

Já o programa da fase operacional mede as condições ambientais após o início do funcionamento da instalação. Qualquer alteração no ambiente será determinada, nesta fase, por comparação com as condições originais, medidas na fase anterior.

Quais são as medidas que devem ser realizadas durante a execução de um PMA? É preciso saber, em primeiro lugar, quais são os efluentes liberados pela instalação em estudo.

De um modo geral, uma instalação nuclear emite efluentes gasosos - que podem carregar partículas sólidas - e efluentes líquidos.

Estes efluentes podem atingir o Homem seguindo diversos caminhos diferentes, chamados "caminhos de exposição". Um "caminho de exposição" é, portanto, o trajeto que um dado contaminante - radioativo ou não - emitido pela instalação, vai seguir até atingir o homem.

Exemplos de "caminhos de exposição" são mostrados na Figura 1: pode-se ver que são muitos e que nem todos têm a mesma importância.

Suponhamos, por exemplo, que exista uma cidade situada próxima à instalação nuclear, e que na região o vento tenha a tendência de levar os efluentes gasosos da instalação para a cidade.

Neste caso, os efluentes gasosos da instalação são um caminho importante de contaminação, o qual recebe o nome de "caminho crítico".

Um outro exemplo é o caso de um rio que, após passar por uma instalação nuclear, atinja um grupo de pessoas que utiliza a sua água. Neste caso, os efluentes líquidos podem ser um "caminho crítico".

É evidente que todos os possíveis "caminhos críticos" devem ser tratados com cuidados especiais.

Como pode ser deduzido dos exemplos apresentados, os "caminhos críticos" foram definidos pelos efluentes da instalação e pelas características da região.

Portanto, para elaborar um PMA é preciso conhecer:

- a) as características da instalação estudada, tais como os efluentes que ela emite e os métodos de controle dos mesmos
- b) as características da região, tais como os cursos d'água existentes, as direções mais importantes do vento, as cidades próximas, a existência de agricultura e pecuária, os hábitos de alimentação da população, etc.

Com estas informações, o grupo de pessoas que vai elaborar o Programa de Monitoração Ambiental poderá definir os tipos de ele

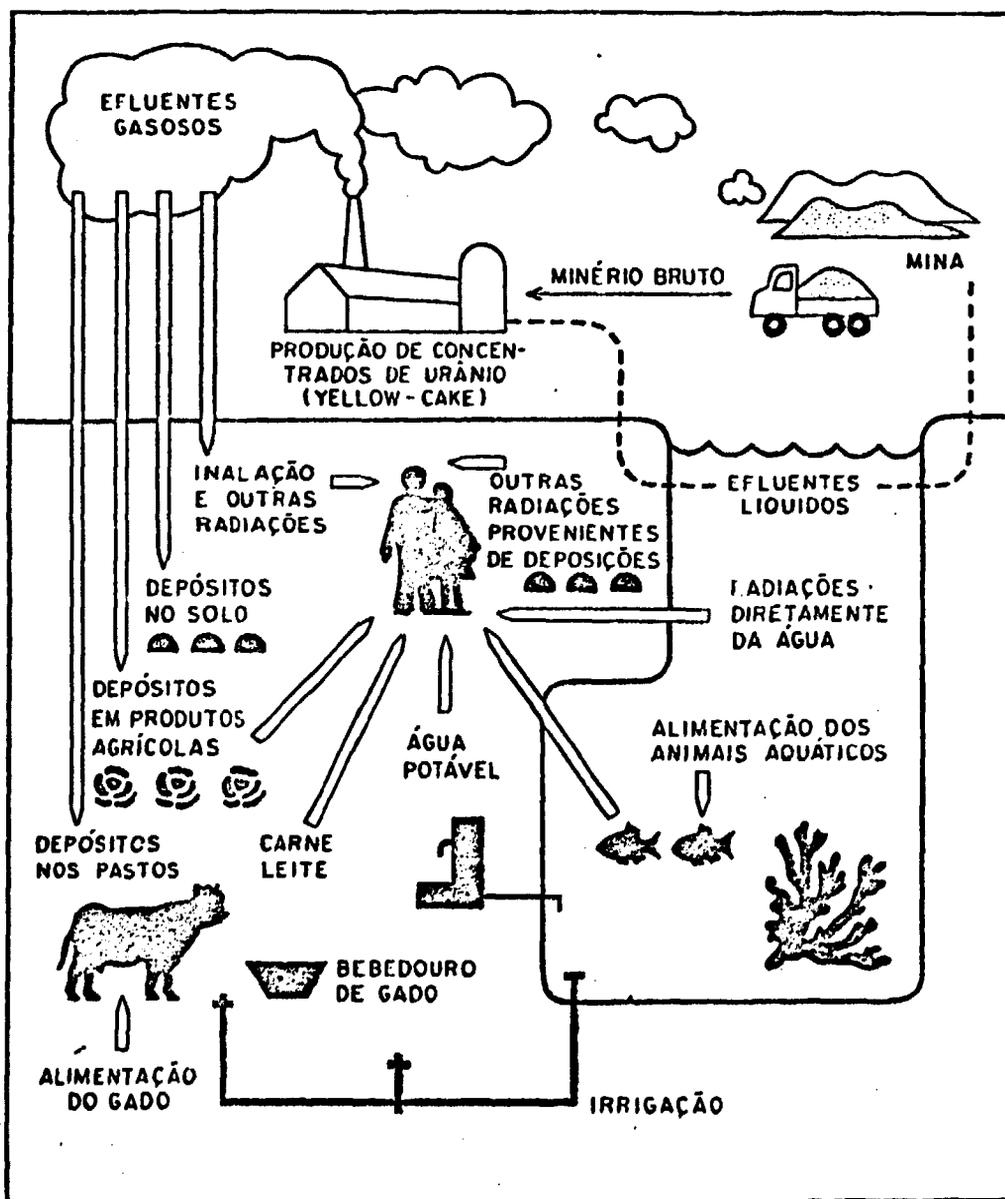


FIG. 1

## OS CAMINHOS DE EXPOSIÇÃO

mentos a serem amostrados (água, ar, solo, sedimento, etc.), os locais de coleta de amostras, o número de amostras a serem coletadas, as análises que elas devem sofrer e os métodos de avaliar os resultados obtidos.

Este conjunto:

- a) tipos de material a serem amostrados
- b) locais de amostragem
- c) número de amostras
- d) métodos de análise de amostras
- e) métodos de avaliar os resultados

constitui um Programa de Monitoração Ambiental (Figura 2).

## 5. ALGUNS PROGRAMAS DA NUCLEBRÁS

Foi dada à NUCLEBRÁS a tarefa de cuidar de todo o "ciclo do combustível nuclear", da fase de prospecção dos minérios nucleares até o reprocessamento, aí incluída a exploração da monazita (através da Nuclemon). Para executar esta tarefa a NUCLEBRÁS já dispõe de várias instalações em operação, possui outras em fase de construção e montagem e prepara-se, para iniciar a implantação de novas instalações.

### 5.1. O início da "ciclo"

A monitoração ambiental nas fases de prospecção, exploração das jazidas e produção dos concentrados de urânio ("yellow-cake") é particularmente difícil. Esta dificuldade decorre principalmente de dois fatos:

- o local de uma mina já é naturalmente radioativo, devido à presença do urânio
- as ocorrências de urânio cobrem em geral áreas grandes e, muitas vezes, de acesso difícil.

Isto obriga a espalhar os pontos de amostragem por regiões extensas e torna as campanhas de coleta de amostras longas e trabalhosas.

Além disto as séries radioativas naturais do urânio e do

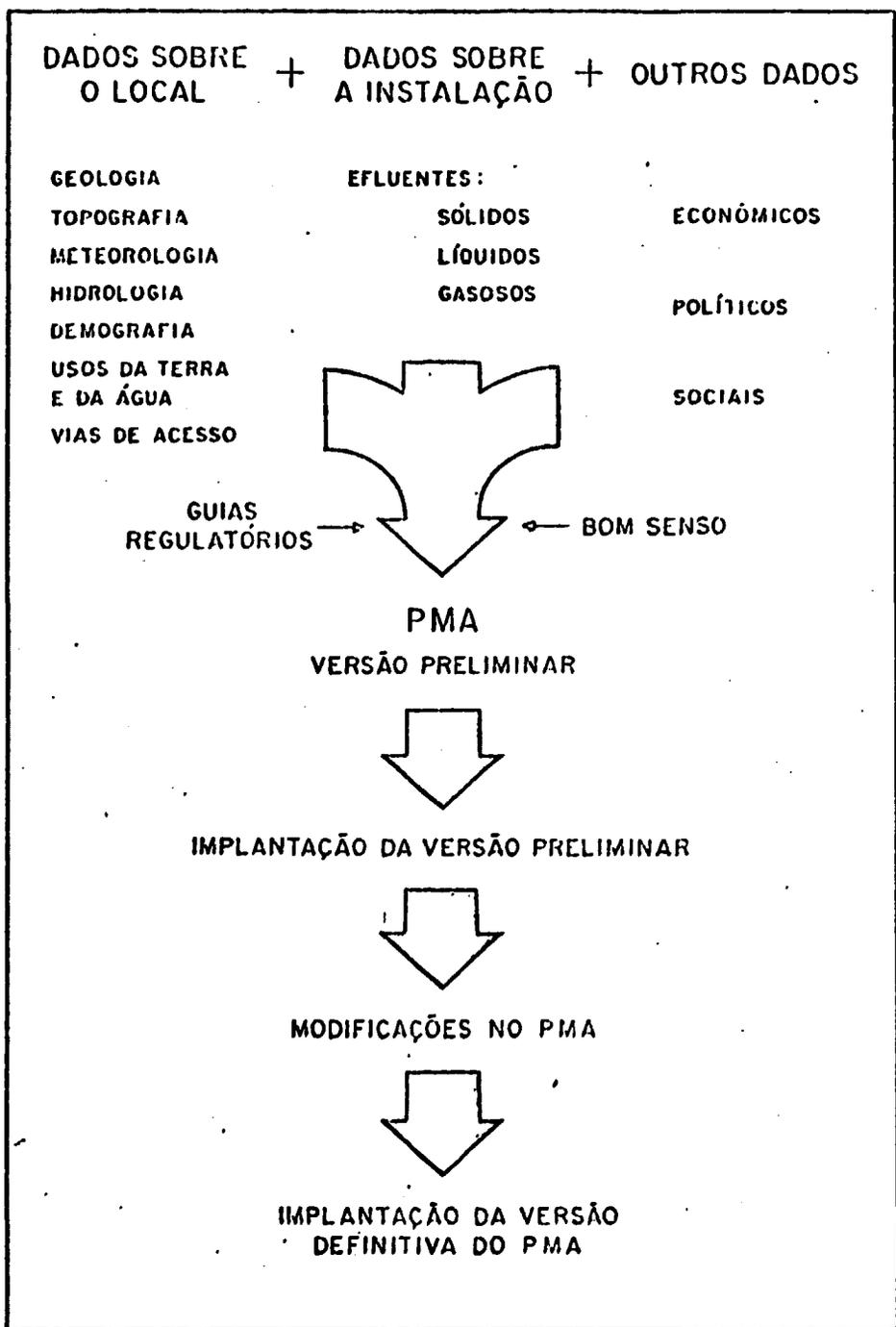


FIG. 2  
ELABORAÇÃO E IMPLANTAÇÃO DE UM PMA

tório são muito extensas, compõem-se de um grande número de nuclídeos. Isto pode ocasionar um número excessivo de amostras a analisar. Adota-se então um procedimento de triagem; as amostras são submetidas a uma análise expedita e aquelas que ultrapassam valores pré-determinados de radioatividade são submetidas a análises completas. Desta forma, sem prejuízo do controle ambiental, podem ser obtidas economias sensíveis de tempo e dinheiro.

Nas atividades iniciais do ciclo do combustível nuclear, a NUCLEBRÁS vem operando em rotina o Complexo Mínero Industrial do Planalto de Poços de Caldas (CIPC). As atividades de controle ambiental desta instalação foram iniciadas pelo Instituto de Radioproteção e Dosimetria (que na época pertencia à NUCLEBRÁS) e, posteriormente, transferidas para a responsabilidade do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN). Hoje o controle ambiental é feito diretamente pelo pessoal do CIPC, que opera um PMA elaborado e implantado com apoio intenso do CDTN. O controle ambiental do CIPC é considerado modelar pela Agência Internacional de Energia Atômica.

A NUCLEBRÁS trabalhou também intensamente na região de Figueira, Paraná. Durante a fase de prospecção foi implantado um PMA que foi operado até fins de 1985, quando os trabalhos na região foram desativados. A NUCLEBRÁS providenciou a recuperação das áreas trabalhadas e está implantando um programa de acompanhamento da situação ambiental, para certificar-se que nenhum dano será ocasionado ao ambiente da região.

Em termos de futuro, duas grandes jazidas de urânio chamam nossa atenção: Itataia, no Ceará, e Lagoa Real, na Bahia. Nestas duas áreas a NUCLEBRÁS ainda trabalha na fase de levantamento de dados sobre as jazidas, havendo intenção de explorá-las dentro de prazos não muito longos. Em ambos os locais foram implantados PMA's que se encontram em execução.

## 5.2. O Complexo Industrial de Resende (CIR)

No CIR encontra-se operando a Fábrica de Elementos Combustíveis (FEC). Em fase final de testes para início de operação encontra-se a "Primeira Cascata" da NUCLEI, destinada a avaliar o processo de enriquecimento isotópico em desenvolvimento pela NUCLEBRÁS. No futuro deverá ser instalada no CIR a Usina de Conversão, para transformar o "yellow-cake" em  $UF_6$ , hexafluoreto de urânio, forma química adequada às operações de enriquecimento.

Bem antes do início da operação da FEC foi implantado na região um PMA pré-operacional, posteriormente revisto para a fase operacional. O CDTN elaborou estes PMA's e teve papel relevante em sua implantação e execução. Hoje as atividades foram transferidas para a responsabilidade do pessoal local. Evidentemente, como no CIR temos três instalações distintas, os programas de monitoração ambiental da região tiveram que levar em conta os efluentes destas instalações. Além disto, como o início da operação destas instalações será feito em épocas distintas, também o PMA vai progressivamente tornando-se mais complexo.

Aliás, isto é um aspecto que deve ser enfatizado: um PMA nunca deve ser considerado estável e definitivo. À medida que os dados vão sendo colhidos, uma análise crítica deve ser feita, alterando-se o programa de modo a torná-lo cada vez mais eficiente e econômico. Nossa filosofia de trabalho tem sido agir de modo conservativo na época de implantação do PMA. Isto significa que preferimos um pequeno superdimensionamento do Programa, a arriscarmo-nos a deixar de colher dados importantes. À medida que nosso conhecimento da região se amplia e se consolida, vamos reavaliando nossos programas e tentando aproximá-los da forma que julgamos ideal.

### 5.3. A exploração da monazita

A exploração das areias monazíticas existentes na costa brasileira é bastante antiga. Foi iniciada por firmas particulares, passando depois à responsabilidade da CNEN, quando foi decretado o monopólio estatal dos minérios nucleares. Em épocas mais recentes passou para a Nuclemon, uma das empresas do Grupo NUCLEBRÁS.

O tratamento das areias monazíticas começa nas jazidas de praia, onde se separa a areia comum da areia monazítica. A Nuclemon opera uma usina para esta finalidade em Buena, RJ. A seguir a areia monazítica é processada na Usina de Santo Amaro, em São Paulo. Deste processamento resulta uma grande série de produtos que é comercializada. Parte do material, a chamada "Torta II", cujo aproveitamento ainda não é econômico, foi estocada algum tempo em Botuxim, SP, e hoje é armazenada no CIPC, município de Caldas, MG.

Existem PMA's implantados e em operação na Usina de Santo Amaro e em Botuxim, que vêm mostrando que nenhum dano tem sido causado ao meio ambiente. Ambos são operados pelo CDTN, com apoio do pessoal local.

Na usina de Buena o processo consiste em retirar-se material radioativo da região. Não há portanto como se falar em contaminação. Mesmo assim, periodicamente, são feitas medidas para assegurar a segurança de nossos trabalhadores e da população local.

#### 6. A ATUAÇÃO DO CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR NA ÁREA AMBIENTAL

Para atuar de maneira mais racional e eficiente, a NUCLEBRÁS adotou como filosofia a divisão de trabalho de controle ambiental entre vários de seus órgãos. Ao Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear cabe:

- elaborar e acompanhar a implantação dos PMA's pré-operacionais das diversas instalações da NUCLEBRÁS e controladas
- acompanhar a elaboração e a execução dos PMA's operacionais das instalações da NUCLEBRÁS e controladas
- apoiar as diversas unidades da NUCLEBRÁS e controladas na análise e solução de problemas de controle ambiental
- auditar tecnicamente as unidades da NUCLEBRÁS e controladas nos aspectos de segurança do meio ambiente.

Para cumprir estas tarefas existe no CDTN a Divisão de Engenharia Ambiental, que vem atuando ativamente na área. A Divisão de Engenharia Ambiental conta ainda com o apoio de toda a infraestrutura do CDTN (química, eletrônica, computação, mecânica, etc.) para cumprir sua missão.

Ainda dentro do enfoque de otimização de recursos, os laboratórios de controle ambiental mais completos da NUCLEBRÁS ficarão sediados em Belo Horizonte. Nas demais instalações estão (ou serão) instalados laboratórios para atender às necessidades locais, em especial àquelas análises que, por sua própria natureza, têm que ser feitas imediatamente após a coleta das amostras.

A Figura 3 resume a divisão de trabalhos mencionada anteriormente, entre o CDTN e os operadores das diversas unidades da NUCLEBRÁS e controladas.

O CDTN trabalha ainda no desenvolvimento de métodos analíticos para amostras ambientais e, há longo tempo, vem executando estudos na natureza relativos à dispersão de efluentes em meios hídricos

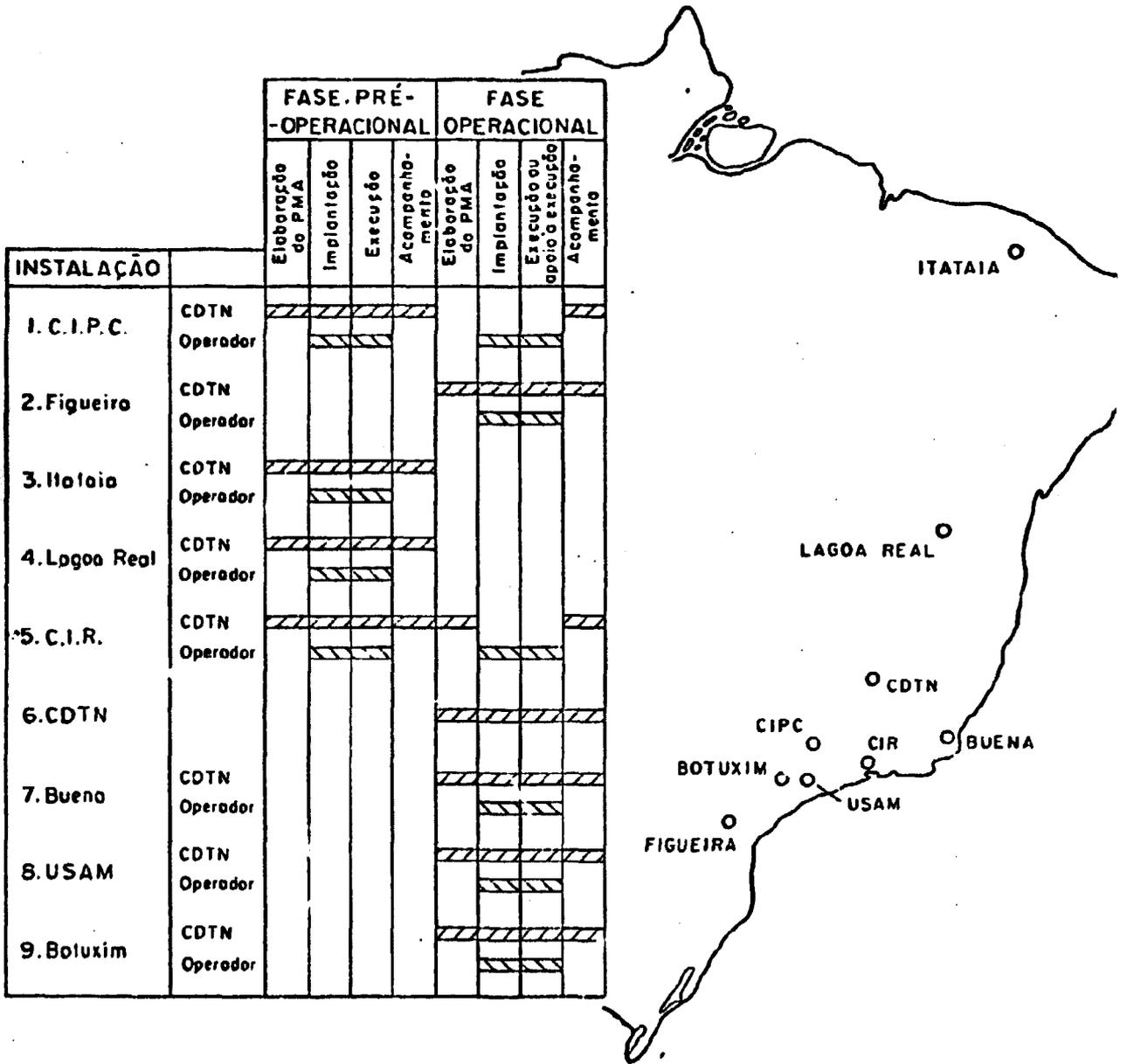


FIG. 3

PROGRAMAS DE MONITORAÇÃO AMBIENTAL - CDTN  
Abril / 1986

(rios, lagos, mar, águas subterrâneas). Estes estudos são feitos não só para a NUCLEBRÁS, como também para outras instituições governamentais e privadas que tenham problemas de poluição ambiental.

Finalmente, para estar certo da qualidade de seus serviços, o CDTN instituiu um complexo Programa de Garantia de Qualidade de seu sistema de análises e vem participando, com integral sucesso, dos programas de intercomparação de resultados analíticos coordenados pela Agência Internacional de Energia Atômica e pela Comissão Nacional de Energia Nuclear.

Nós estamos convictos de que, com os cuidados que estamos tomando, a energia nuclear no Brasil não ocasionará nenhum dano ao Homem e ao meio ambiente.

#### REFERÊNCIAS

1. BRASIL. Comissão Nacional de Energia Nuclear. Normas básicas de proteção radiológica. Rio de Janeiro, 1973. (CNEN - Resolução 6/73).
2. EUA. Nuclear Regulatory Commission. Radiological effluents and environmental monitoring at uranium mills. Washington, D.C., 1980. (REG./GUIDE) 4.14).
3. \_\_\_\_\_. Programs for monitoring radioactivity in the environs of nuclear power plants. Washington, D.C., 1975. (REG./GUIDE 4.1).
4. \_\_\_\_\_. Terrestrial environmental studies for nuclear power stations. Washington, D.C., 1976. (REG./GUIDE) 4.11).
5. MEDRAMO, G. Energia nuclear y radioactividade ambiental - normas. Energia Nuclear, Madrid, 23(121): 329-37, 1979.

As referências seguintes são documentos editados pelo Departamento de Radioproteção e Apoio ao Licenciamento (DERL) do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) da NUCLEBRÁS, em Belo Horizonte.

6. FERREIRA, E.G. Padrões para eliminação de rejeitos radioativos no meio ambiente. (Nota Informativa DERL.PD.-004/86).
7. NUCLEBRÁS/CDTN-DERL. Programa de monitoração ambiental para o Complexo Industrial de Poços de Caldas. (Relatório DERL.PD.-002/81).

8. CONDESSA, M.L.M.B. Resultados de análises radiométricas de amostras de água coletadas nas vizinhanças do Complexo Mineral-Industrial do Planalto de Poços de Caldas, no período de Julho/78 a Dezembro/80. (Relatório DERL.PD.-036/81).
9. \_\_\_\_\_. Relatório de monitoração ambiental da área circunvizinha ao Complexo Mineral-Industrial do Planalto de Poços de Caldas - CIPC - período Julho 1978 a Junho 1982. (Relatório DERL.PD-012/83).
10. DALSTON, R.C.R. Programa de monitoração ambiental de Figueira. (Relatório DERL.PD-015/84).
11. CONDESSA, M.L.M.B. Programa de monitoração ambiental para o Complexo Industrial de Itataia - fase pré-operacional. (Relatório DERL.PD.-004/82).
12. \_\_\_\_\_. Comentários referentes à avaliação do relatório de monitoração ambiental e radioproteção ocupacional em Itataia. (Relatório DERL.PD.-011/85).
13. DALSTON, R.C.R. Programa de monitoração ambiental para Lagoa Real. (Relatório DERL.PD.-001/82).
14. FERREIRA PINTO, A.M. Programa de monitoração ambiental de Lagoa Real - 1ª atualização. (Relatório DERL.PD.-036/82).
15. NUCLEBRÁS/CDTN-DERL. Programa de monitoração ambiental para o Complexo Industrial de Resende (CIR). Fase operacional da fábrica de elementos combustíveis (1ª etapa). Fase pré-operacional das usinas de conversão e enriquecimento. 1981.
16. CARVALHO, M.A.G. Relatório de configuração ambiental pré-operacional do Complexo Industrial de Resende. (Relatório DERL.PD.-008/82).
17. \_\_\_\_\_. Resultados de análises realizadas na área do Complexo Industrial de Resende no período de Agosto de 1980 a Dezembro de 1981. (Relatório DERL.PD.-011/82).
18. NUCLEBRÁS/CDTN-DERL. Programa de monitoração ambiental para Pezoeira - fase pré-operacional. (Relatório DERL.PD.-007/82).
19. FERREIRA, E.G. Programa de monitoração ambiental do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - versão preliminar. 1983.
20. \_\_\_\_\_. Programa de monitoração ambiental do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear. (Relatório DERL.PD-022/85).

21. FERREIRA, E.G. Programa de monitoração ambiental da Usina de Praia - NUCLEMON. versão preliminar. 1983.
22. \_\_\_\_\_. Programa de monitoração ambiental da Unidade Móvel e Usina de Buena - UPRA - NUCLEMON. (Relatório DERL.PD.-016/85).
23. \_\_\_\_\_. Programa de monitoração ambiental para a Usina de Santo Amaro - NUCLEMON. (Relatório DERL.PD.-037/82).
24. \_\_\_\_\_. 1ª e 2ª inspeções pré-operacionais de níveis de radiação ambiental da Usina de Campos. (Relatório DERL.PD.-023/85).
25. \_\_\_\_\_. Programa de monitoração ambiental para a Usina de Campos - NUCLEMON - versão preliminar. 1985.
26. NUCLEBRÁS/CDTN-DERL. Programa de monitoração ambiental para os depósitos da NUCLEMON em Botuxim - Itu. (Relatório DERL.PD-023/80).